

ANALISIS BEARING PADA POMPA SENTRIFUGAL DI INSTALASI PENGOLAHAN AIR LIMBAH (IPAL) PT.SIER MENGGUNAKAN PROGRAM *PREVENTIVE MAINTENANCE* YANG TERENCANA

Juan Ardi Kusuma

S1 Pendidikan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

e-mail: juankusuma@mhs.unesa.ac.id

Firman Yasa Utama

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

e-mail: firmanutama@unesa.ac.id

Abstrak

Pompa Sentrifugal pada perusahaan ini berfungsi untuk menyalurkan limbah pabrik ke instalasi pengolahan air limbah agar kadar limbah berkurang. Salah satu komponen pompa sentrifugal pada instalasi pengolahan air limbah yang harus diperhatikan adalah *bearing*. Perawatannya selama ini menggunakan *corrective maintenance* yaitu ketika mesin mati atau alat mengalami kerusakan baru dilakukan perbaikan. Belum tersedianya penjadwalan *preventive maintenance* menyebabkan tidak diketahuinya faktor kerusakan yang terjadi pada *bearing* saat beroperasi. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui cara mengidentifikasi kerusakan *bearing* agar dapat meningkatkan performa pompa sentrifugal dan menentukan penjadwalan *preventive maintenance*. Metode pengujian ini menggunakan penelitian terapan (*applied research*). Hasil penelitian ini adalah identifikasi kerusakan pada pompa didapatkan nilai keandalan terendah yaitu 74,2% dan nilai amplitudonya sebesar 1,91 m/s². Dimana batas minimum keandalan adalah 80% dan batas maksimum *amplitudo* 1,8 m/s². Kondisi yang dialami *bearing* mengindikasikan mengalami kerusakan. Tindakan pengecekannya diperoleh dari suara yang ditimbulkan *bearing* dan pengujian getaran menggunakan *vibration meter*. Sehingga penjadwalan *preventive maintenance* dapat dilakukan mulai dari *daily*, *weekly*, *monthly* dan *yearly* sesuai hasil penelitian.

Kata kunci: *Bearing, Reliability, Amplitudo, Preventive Maintenance*

Abstract

Centrifugal pumps in this company serve to channel factory waste to a wastewater treatment plant so that the waste content is reduced. One component of a centrifugal pump in a wastewater treatment plant that must be considered is bearing. The maintenance has been using corrective maintenance, which is when the engine is off or the tool has suffered a new repair. The unavailability of preventive maintenance scheduling has caused no known factor of damage that occurs in bearings when operating. The purpose of this study is to determine how to identify bearing damage in order to improve the performance of centrifugal pumps and determine preventive maintenance scheduling. This test method uses applied research. The results of this study are identification of damage to the pump obtained the lowest reliability value of 74.2% and the amplitude value of 1.91 m/s². Where the minimum reliability limit is 80% and the maximum amplitude limit is 1.8 m/s². Conditions experienced by bearings indicate damage. The checking action was obtained from the sound generated by bearing and vibration testing using vibration meter. So that preventive maintenance scheduling can be done from daily, weekly, monthly and yearly according to the results of the study.

Keywords: *Bearing, Reliability, Amplitude, Preventive Maintenance.*

PENDAHULUAN

Pada zaman sekarang, dalam dunia industri tak luput dengan yang namanya *maintenance* (pemeliharaan) pada mesin. *Maintenance* (pemeliharaan) merupakan kegiatan untuk memelihara dan menjaga suatu mesin agar tidak mengalami kerusakan, tindakan yang dilakukan meliputi penyetelan, pelumasan, pengecekan dan penggantian *sparepart* mesin. Dalam pemeliharaan terdapat 2 jenis yakni *Planned Maintenance* (pemeliharaan terencana) dan *Unplanned Maintenance* (pemeliharaan tak

terencana). Didalam *Planned Maintenance* terdapat 3 bentuk yaitu *Predictive Maintenance (PdM)*, *Preventive Maintenance (PM)*, dan *Corrective Maintenance (CM)*.

Predictive maintenance (PdM) merupakan pekerjaan yang dikerjakan setelah melalui perencanaan berdasarkan kondisi mesin dan tidak semata-mata karena telah dijadwalkan. *Preventive maintenance (PM)* merupakan kegiatan pemeliharaan untuk mencegah timbulnya kerusakan yang tidak terduga dan menemukan kondisi yang dapat menyebabkan mesin mengalami kerusakan pada waktu proses produksi. *Corrective Maintenance*

(CM) merupakan pekerjaan yang dilakukan untuk memperbaiki dan meningkatkan kondisi mesin sehingga mencapai standar yang dianjurkan.

Dengan adanya pemeliharaan, banyak manfaat yang didapat oleh perusahaan diantaranya yaitu dapat menjamin kesiapan operasional pada saat akan digunakan, dapat memperpanjang kinerja atau usia dari mesin, dan menjamin ketersediaan optimum peralatan yang dipasang untuk produksi serta mendapatkan keuntungan yang maksimum.

PT. SIER adalah perusahaan BUMN (Badan Usaha Milik Negara) yang menangani pengelolaan kawasan industri dan pengolahan air limbah pabrik menggunakan pompa sentrifugal. Dimana pompa sentrifugal ini berguna untuk menyalurkan limbah pabrik ke instalasi pengolahan air limbah untuk diolah sehingga kadar limbah berkurang dan pada akhirnya akan dialirkan ke Sungai Tambak Oso.

Pompa sentrifugal adalah pompa yang berguna untuk memindahkan cairan dengan memanfaatkan gaya sentrifugal yang dihasilkan oleh *impeller*. Pompa ini berfungsi untuk mengangkat fluida dari tempat yang rendah ke tempat yang lebih tinggi atau dari tekanan yang rendah ke tekanan yang lebih tinggi.

Selama ini perusahaan hanya menggunakan sistem *corrective maintenance* yaitu ketika mesin mati atau alat mengalami kerusakan baru dilakukan perbaikan sehingga dapat mengganggu proses produksi yang berimbas pada peningkatan biaya *down time* dalam proses perbaikan yang berlangsung. Untuk penanganan perawatan ini waktu yang diperlukan untuk memperbaiki yakni antara 2 sampai 4 hari.

Bila terjadi kerusakan pada salah satu komponen pompa sentrifugal, dapat mengakibatkan *shutdown* sistem keseluruhan sehingga menghentikan proses produksi. Hal tersebut akan menyebabkan kerugian pada perusahaan yang berupa biaya pekerja, harga komponen, serta kerugian kegagalan produksi. Oleh karena itu perlu adanya interval pemeliharaan yang sesuai. Apabila interval waktu penggantian komponen terlalu panjang maka, mesin akan berhenti beroperasi dan mengakibatkan kerugian yang cukup besar. Namun jika interval waktu penggantian pendek maka, biaya penggantian menjadi tinggi.

Oleh karena itu perlu diadakannya *preventive maintenance* yang berguna untuk memperkecil kemungkinan turun mesin dan memperpanjang *lifetime* mesin. Pada proses ini dapat dikatakan banyak memakan biaya awal (*starting cost*) yang tinggi. Namun biaya tersebut tertutupi dengan estimasi *break-even*. Estimasi ini mengkalkulasi jumlah waktu atau jam kerja yang harus dipenuhi oleh peralatan guna menutupi biaya awal.

Salah satu komponen pompa sentrifugal yang harus diperhatikan dalam *preventive maintenance* adalah

bearing, karena *bearing* merupakan komponen yang sangat mendukung dalam performa *input* dan *output* kapasitas dari pompa sentrifugal. Di industri ini pemeliharaan *bearing* sangat kurang diperhatikan serta tidak memperhitungkan berapa lama kekuatan *bearing* tersebut akan bertahan.

Melalui penelitian ini akan diupayakan dalam perencanaan analisis *bearing* pada pompa sentrifugal menggunakan program *preventive maintenance* yang terencana pada Instalasi pengolahan Air Limbah (IPAL) di PT. SIER dapat berfungsi untuk meningkatkan performa *input* dan *output* kapasitas pompa, mengetahui berapa lama *bearing* akan bekerja serta mempermudah proses pemeliharannya.

Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang dapat diambil dari batasan penelitian diatas adalah:

- Bagaimana cara mengidentifikasi faktor kerusakan pompa khususnya pada komponen *Bearing* untuk meningkatkan dan memaksimalkan performa *input* dan *output* pompa sentrifugal?
- Bagaimana penjadwalan *preventive maintenance* pada *bearing* di komponen pompa sentrifugal?

Tujuan Penelitian

Adanya tujuan penelitian ini adalah:

- Untuk Mengetahui cara mengidentifikasi faktor kerusakan pompa khususnya pada komponen *Bearing* untuk meningkatkan dan memaksimalkan performa *input* dan *output* pompa sentrifugal.
- Untuk menentukan penjadwalan *preventive maintenance* pada *bearing* di komponen pompa sentrifugal.

Kajian Teoritik

- Pompa Sentrifugal

Menurut Sidiq (2016) "Pompa sentrifugal adalah pompa untuk memindahkan cairan dengan memanfaatkan gaya sentrifugal yang dihasilkan oleh *impeller*."

- Bantalan (*Bearing*)

Bantalan (*bearing*) adalah elemen mesin yang menumpu poros berbeban, sehingga putaran atau gerak bilak-balik dapat bekerja dengan aman.

- *Preventive Maintenance*

Menurut Stephen (2004) "*Preventive Maintenance* adalah kegiatan pemeliharaan yang dilakukan untuk mencegah timbulnya kerusakan yang tidak terduga dan menemukan kondisi yang dapat menyebabkan mesin mengalami kerusakan pada waktu proses produksi."

- **Keandalan**
Menurut Ebelling (1997) “Keandalan adalah probabilitas dimana pada saat suatu operasi berada pada kondisi lingkungan tertentu, sistem akan menunjukkan kemampuannya sesuai dengan fungsi yang diharapkan pada selang waktu tertentu.”
- **Vibration Meter**
Vibration Meter adalah alat untuk mengukur kelayakan pada getaran mesin saat beroperasi, dengan menggunakan satuan m/s^2 atau inch/s^2 . Dan alat ini akan memberikan tampilan tingkat getaran (berupa analog atau digital).

METODE

Jenis Penelitian

Penelitian ini menggunakan jenis penelitian terapan (applied research).

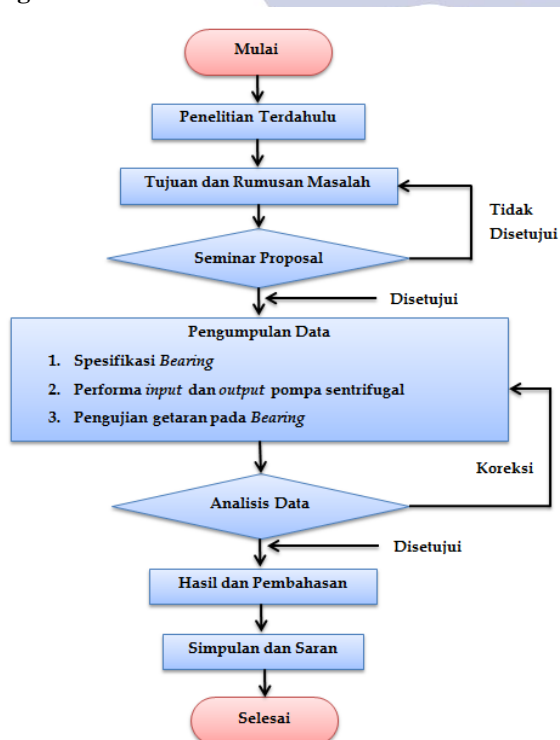
Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di PT. SIER pada bagian Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) pada bulan Januari 2019.

Obyek Penelitian

Obyek penelitian ini adalah untuk dapat mengidentifikasi faktor kerusakan dan melakukan perencanaan *preventive maintenance* pada *bearing* dengan menghitung nilai Keandalan dan menguji nilai *Amplitudo*.

Diagram Alir Penelitian



Gambar 1. Desain Eksperimen

Teknik Pengumpulan Data

- Data Observasi Lapangan



Gambar 2. Single Row Cylindrical Bearing

Weight	: 0,9 kg
Inside Diameter (d)	: 45 mm
Outside Diameter (D)	: 100 mm
Width (B)	: 25 mm
Dynamic Load Rating (C)	: 112 kN
Static Load Rating (C ₀)	: 100 kN
Fatigue Load Rating	: 12,9 kN
Limiting Speed Rating	: 8500 rpm
Reference Speed Rating	: 7500 rpm

- Data Pelaksanaan Perawatan
- Pengujian *Amplitudo*



Gambar 3. Vibration Meter

Metode Analisa Data

Langkah-langkah menganalisa data sebagai berikut :

- Menghitung umur pemakaian *bearing*.
- Mengukur *amplitudo* dengan menggunakan *vibration meter*.
- Mengitung nilai keandalan pada *bearing*.
- Data hasil yang sudah dilakukan akan dibandingkan satu sama lain agar diketahui faktor kerusakan pada *bearing*.
- Selanjutnya menganalisa hasil perbandingan untuk mengetahui faktor kerusakan pada *bearing*.
- Merencanakan *preventive maintenance* agar bearing dapat bekerja dengan maksimal dan meminimalisir terjadinya kerusakan.
- Menyimpulkan hasil penelitian.

Teknik Analisa Data

- Perhitungan umur *bearing*
Perhitungan umur *bearing* ini akan menunjukkan berapa lama dapat beroperasi dan umur ini menggunakan dalam satuan per jam.

Perhitungan untuk umur bantalan sebagai berikut :

$$L_{10h} = \left(\frac{C}{P_o} \right)^b \cdot \frac{10^6}{n \cdot 60} \quad (1)$$

C = beban dinamis

P_o = beban ekuivalen

n = putaran poros

b = 3 untuk *ball bearing* dan 3,33 untuk *cylindrical roller bearing*

Dimana :

$$P_o = v \cdot x \cdot F_r + y \cdot F_a \quad (2)$$

F_r = gaya radial

F_a = gaya aksial

- Perhitungan Nilai Keandalan

Merupakan nilai yang dapat menunjukkan seberapa besar komponen mesin dapat beroperasi dengan baik. Menentukan nilai keandalan dapat dimulai sebagai berikut :

Menghitung laju kegagalan :

$$MTBF = \frac{1}{\lambda} \quad (3)$$

Selanjutnya menghitung waktu gagal berfungsi *bearing*:

$$\text{Waktu gagal berfungsi}(t) = MTBF - (L_{10h}) \quad (4)$$

Terakhir melakukan penghitungan nilai keandalannya yaitu :

$$R(t) = 1 / (1 + \lambda t) \quad (5)$$

Jika sudah mengetahui tingkat keandalan bisa dilakukan perhitungan nilai probabilitas kegagalannya :

$$F(t) = 1 - R(t) \quad (6)$$

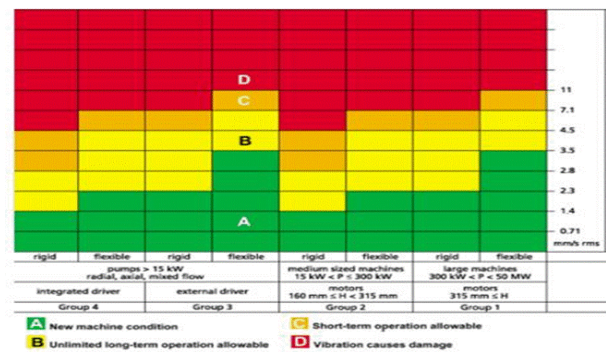
Berikut adalah kisaran nilai yang menunjukkan keandalan suatu komponen mesin :

Tabel 1. Nilai Tingkat Keandalan

Besar Nilai R (%)	Interpretasi
0 – 20	Sangat Rendah
20 – 40	Rendah
40 – 60	Sedikit Rendah
60 – 80	Cukup
80 – 100	Tinggi

- Amplitudo*

Berikut adalah standar vibrasi *bearing* yang terbaru:



Gambar 4. ISO 10816-3, Standar Vibrasi

HASIL DAN PEMBAHASAN

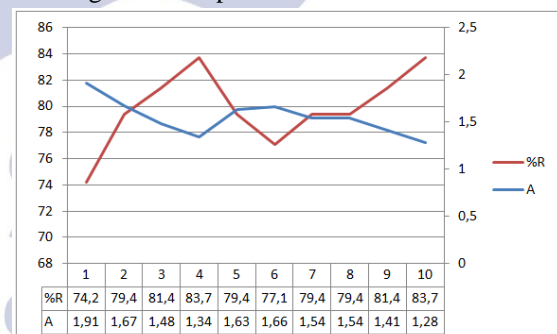
Hasil Analisis kerusakan *Bearing*

Setelah melakukan perhitungan pada nilai keandalan dan pengujian pada getaran *bearing*. Selanjutnya menghubungkan keduanya dan menganalisis faktor kerusakannya.

Diketahui bahwa batas nilai keandalan yang terbaik adalah 80%-100%, bila nilai yang dihasilkan lebih rendah dari nilai tersebut maka keandalannya akan berkurang dan akan menyebabkan cepat terjadinya kerusakan. Sedangkan untuk batas aman dari *amplitudo* adalah 0 m/s²-1,8 m/s². Bila nilai lebih dari nilai tersebut maka hal ini menunjukkan jika *bearing* berada pada kondisi yang berbahaya untuk cepat terjadinya kerusakan.

Berikut adalah hasilnya :

- Bearing* Pada Pompa ke-1



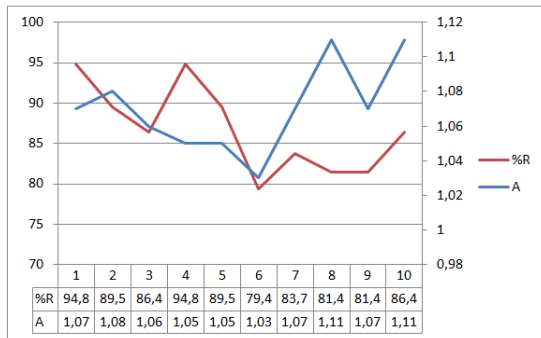
Gambar 5. Grafik Hubungan *Reliability* dan *Amplitudo*

Berdasarkan hasil dari grafik tersebut dapat diketahui bahwa nilai *reliability* atau keandalan *bearing* didapat dengan nilai terendah yaitu 74,2% sedangkan nilai amplitudonya yaitu 1,91 m/s², terjadi pada observasi ke-1. Dari grafik diatas menjelaskan bila nilai keandalannya rendah maka akan menyebabkan nilai amplitudonya semakin besar sehingga getaran yang akan dialami oleh *bearing* semakin tinggi dan *bearing* tersebut akan cepat terkikis serta mengalami keausan.

Berdasarkan grafik tersebut juga diketahui nilai *reliability* atau keandalan *bearing* dengan nilai tinggi yaitu 83,7% sedangkan nilai amplitudonya yaitu 1,28

m/s^2 , terjadi pada observasi ke-10. Dari grafik diatas menjelaskan bila nilai keandalannya tinggi maka akan menyebabkan nilai *amplitudonya* semakin kecil sehingga getaran yang akan dialami oleh *bearing* dalam lingkup aman dan *bearing* tersebut tidak akan cepat terkikis serta lama untuk terjadinya keausan.

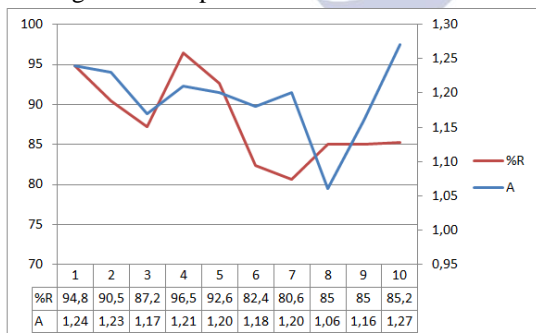
- Bearing Pada Pompa ke-2



Gambar 6. Grafik Hubungan *Reliability* dan *Amplitudo*

Berdasarkan hasil dari grafik tersebut dapat diketahui bahwa nilai *reliability* atau keandalan *bearing* didapat dengan nilai terendah yaitu 79,4% sedangkan nilai amplitudonya yaitu $1,03 \text{ m/s}^2$, terjadi pada observasi ke-6. Sedangkan nilai *reliability* atau keandalan *bearing* dengan nilai tinggi yaitu 94,8% sedangkan nilai amplitudonya yaitu $1,05 \text{ m/s}^2$, terjadi pada observasi ke-5. Dari grafik diatas menjelaskan bahwa rata-rata yang dihasilkan sangat baik karena nilai keandalannya sebagian besar berada diatas batas yang dianjurkan yaitu 80% dan nilai *amplitudo* berada di batas aman dibawah $1,8 \text{ m/s}^2$. Hal ini menyebabkan untuk terjadinya kerusakan seperti cepat terkikis serta lamanya untuk terjadi keausan sangat kecil.

- Bearing Pada Pompa ke-3

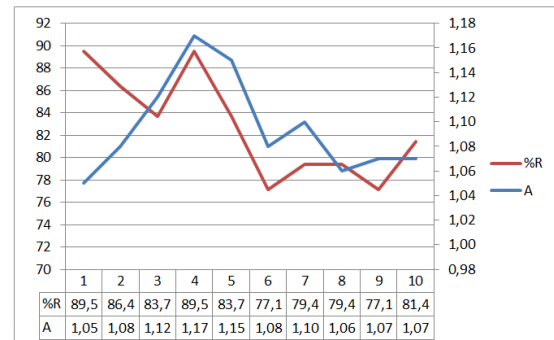


Gambar 7. Grafik Hubungan *Reliability* dan *Amplitudo*

Berdasarkan hasil dari grafik tersebut dapat diketahui bahwa nilai *reliability* atau keandalan *bearing* didapat dengan nilai terendah yaitu 80,6% sedangkan nilai amplitudonya yaitu $1,20 \text{ m/s}^2$, terjadi pada observasi ke-7. Sedangkan nilai *reliability* atau keandalan *bearing* dengan nilai tinggi yaitu 96,5% sedangkan nilai amplitudonya yaitu $1,21 \text{ m/s}^2$, terjadi pada observasi ke-4. Dari grafik diatas menjelaskan bahwa rata-rata yang dihasilkan sangat baik karena nilai keandalannya semua

berada diatas batas yang dianjurkan yaitu 80% dan nilai *amplitudo* berada di batas aman dibawah $1,8 \text{ m/s}^2$. Hal ini menyebabkan untuk terjadinya kerusakan seperti cepat terkikis serta lamanya untuk terjadi keausan sangat kecil.

- Bearing Pada Pompa ke-4



Gambar 8. Grafik Hubungan *Reliability* dan *Amplitudo*

Berdasarkan hasil dari grafik tersebut dapat diketahui bahwa nilai *reliability* atau keandalan *bearing* didapat dengan nilai terendah yaitu 77,1% sedangkan nilai amplitudonya yaitu $1,08 \text{ m/s}^2$, terjadi pada observasi ke-6. Sedangkan nilai *reliability* atau keandalan *bearing* dengan nilai tinggi yaitu 89,5% sedangkan nilai amplitudonya yaitu $1,05 \text{ m/s}^2$, terjadi pada observasi ke-1. Dari grafik diatas menjelaskan bahwa rata-rata yang dihasilkan sangat baik karena nilai keandalannya sebagian besar berada diatas batas yang dianjurkan yaitu 80% dan nilai *amplitudo* berada di batas aman dibawah $1,8 \text{ m/s}^2$. Hal ini menyebabkan untuk terjadinya kerusakan seperti cepat terkikis serta lamanya untuk terjadi keausan sangat kecil.

Hasil Analisis *Preventive Maintenance*

Analisis *Preventive Maintenance* ini berguna untuk mengantisipasi cepat terjadinya kerusakan yang akan diakibatkan oleh *bearing* berikut adalah hasilnya :

Tabel 2. Rancangan Kegiatan Pemeliharaan

Daily	Weekly	Monthly	Yearly
<ul style="list-style-type: none"> - Monitoring debit air - Monitoring kinerja pompa* 	<ul style="list-style-type: none"> - Monitoring kondisi pompa 	<ul style="list-style-type: none"> - Monitoring kondisi bearing** - Pemeriksaan getaran pada bearing - Pemeriksaan kebocoran oli bearing - Pemeliharaan pada bearing dengan pemberian pelumasan 	<ul style="list-style-type: none"> - Monitoring kondisi bearing** - Pemeriksaan getaran pada bearing - Penggantian bearing

Keterangan :

* Kinerja dari pompa bergantung pada debit air, bila debit air berada pada batas minimum atau air terdapat campuran bahan kimia lain seperti busa maka otomatis pompa akan dimatikan berguna untuk menjaga pompa dari kerusakan.

** Monitoring yang dilakukan seperti mengecek dari suara yang ditimbulkan *bearing* pada pompa.

Rancangan ini menekankan pada pemeliharaan untuk pemberian pelumasan dilakukan setiap 1 bulan sekali,

memonitor kondisi bearing dengan mengecek suara kinerjanya dan kondisi getaran *bearing* sebagai salah satu indikator penyebab kerusakan. Untuk mengidentifikasi getaran pada *bearing* harus dilakukan setiap 1 bulan dengan menggunakan alat vibrasi meter.

Tabel 3. Pemeliharaan *Bearing* Berdasarkan Umur

Tgl Mulai: 2/07/2018		Pompa Sentrifugal		Lokasi: Pompa Induk		Diperiksa		Disetujui	
No	Tgl Diperiksa	Komponen Pompa	Tindakan				Keterangan	Biaya	
			Cek	Lumasi	Setel	Perbaikan			Uji Getaran
1	2/07/2018 Sampai 2/07/2018	Bearing	✓	✓			✓		
2	2/09/2018	Bearing	✓		✓	✓			
3	2/04/2017 Sampai 2/07/2018	Bearing	✓	✓			✓		
4	2/02/2019	Bearing	✓		✓	✓			
5	2/05/2018 Sampai 2/07/2018	Bearing	✓	✓			✓		
6	2/08/2020	Bearing	✓		✓	✓			
7	2/03/2018 Sampai 2/07/2018	Bearing	✓	✓			✓		
8	2/07/2020	Bearing	✓		✓	✓			

Tabel diatas adalah perencanaan pemeliharaan pompa yang akan digunakan pada *bearing* berdasarkan umur bearing yang telah dihitung sebelumnya. Untuk tindakan cek, pelumasan dan pengujian getaran dilakukan selama awal pemasangan hingga 1 bulan sebelum penggantian berdasarkan umur *bearing* yang telah dihitung sebelumnya serta menunjukkan keadaan *bearing* pada saat bekerja.

PENUTUP

Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan, maka diperoleh simpulan sebagai berikut :

- Identifikasi kerusakan bearing pada pompa ke-1 didapatkan nilai keandalan terendah yaitu 74,2% maka akan menyebabkan nilai amplitudonya semakin besar yaitu $1,91 \text{ m/s}^2$. Dimana batas minimum keandalan adalah 80% dan batas keamanan maksimum *amplitudo* yaitu $1,8 \text{ m/s}^2$, sehingga getaran yang akan dialami oleh *bearing* semakin tinggi dan *bearing* tersebut akan cepat terkikis serta mengalami keausan. Sedangkan untuk pompa ke-2 sampai ke-4 berapada pada kondisi yang baik.
- Pemeliharaan dilakukan mulai dari *daily*, *weekly*, *Monthly* dan *Yearly*. Serta terdapat tindakan pengecekan kondisi *bearing* berupa pengecekan dari suara yang ditimbulkan, pemberian pelumasan oli dan pengujian getaran yang menggunakan alat *vibration meter*. Hal tersebut harus dilakukan setiap bulan agar dapat meminimalisir terjadinya kerusakan yang lebih cepat pada *bearing*.

Saran

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan, maka diperoleh saran sebagai berikut :

- Hasil dari perhitungan sampai penentuan umur *bearing* dapat digunakan sebagai salah satu pertimbangan dalam kebijakan menentukan pemeliharaan *bearing*.
- Proses penelitian ini hanya dilakukan dalam kurun waktu satu bulan, oleh karena itu disarankan penelitian serupa untuk melaksanakan penelitian dalam waktu minimal 3 bulan.
- Perancangan *preventive maintenance* untuk komponen pompa yang lain dapat dilakukan seperti pemeliharaan pada penelitian ini.
- Dapat dilanjutkan dengan penelitian pengujian suhu dan pegujian korosi kavitasi untuk mengetahui penyebab terjadi kerusakan *bearing* agar hasil lebih terperinci.

DAFTAR PUSTAKA

- Adhi Darmawan, Sidiq. 2016. *Pompa Sentrifugal*. Surakarta: Universitas Sebelas Maret.
- Arikunto, Suharsimi. 1993. *Manajemen Penelitian*. Jakarta: Rineka Cipta.
- Assauri, Sofyan. 1999. *Manajemen Produksi dan Operasi*. Jakarta: Lembaga Penerbit Fakultas Ekonomi Universitas Indonesia.
- Buku Pedoman Universitas Negeri Surabaya Tahun Akademik 2014/2015 Fakultas Teknik. 2014. Surabaya : Universitas Negeri Surabaya.
- Devina dkk. 2016. "Analisis Getaran Struktur Mekanik pada Mesin Berputar Untuk Memprediksi Kerusakan Akibat Kondisi Unbalance Sistem Poros Rotor" dalam *jurnal teknik*. Surabaya : Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.
- Ebelling, C.E. 1997. *An introduction to reliability and Maintainability Engineering*. New York : The Mc.Graw Hill Companier inc.
- F.L,Whitney. 1960. *The Element of Resert*. Asian Eds. Osaka : Overseas Book co.
- Firman dan Juan. 2018. "Analisis Maintenance Centrifugal Pump Tipe ETA-N 125x100-400 pada Instalasi Pengolahan Air Limbah Industri" dalam *Jurnal teknik*. Surabaya : Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya.
- Firman Yasa Utama. 2012. "Pemodelan dan Simulasi Reliability Komponen Pesawat Terbang Tipe Boeing737-300/-400 di PT. Merpati Nusantara Airlines" dalam *tesis*. Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Guntoro, Muhammad Bayu. 2017. *Preventive Maintenance Pompa Sentrifugal Pada Suplai Air Sungai Pabrik PTPN IV Unit Usaha Adolina*. Medan : Sekolah Tinggi Teknik Harapan.
- Hadari dan Mimi. 2005. *Penelitian Terapan*. Yogyakarta : Gadjah Mada University Press.

- John and Andrew. 2001. *Maintenance Excellence*. New York : Marcel Dekker, Inc.
- Mierza Muhtadin. 2017. “Perawatan Korektif Pompa Sentrifugal Between Bearing (3003J) di PT. Pupuk Kujang Cikampek” dalam *jurnal teknik*. Bandung : Universitas Pasundan.
- Mott, Robert L. 2004. *Elemen-Elemen Mesin Dalam Perancangan Mekanis*. Yogyakarta: Penerbit Andi Yogyakarta.
- Priambodo, Bambang. 1982. *Elemen Mesin*. Surabaya : Penerbit Erlangga.
- Prijo, Agung. 2014. *Menggambar Mesin Tingkat Lanjut*. Surabaya : Universitas Negeri Surabaya.
- Sonawan, Hery. 2010. *Perancangan Elemen Mesin*. Bandung : Penerbit Alfabeta.
- Sugiyono. 2015. *Metode penelitian pendidikan kuantitatif, kualitatif dan R&D*. Bandung: Alfabeta.
- Suharto Dkk. 2004. *Perekayasaan Metodologi Penelitian*. Yogyakarta : Penerbit Andi Yogyakarta.
- Sukendi dkk. 2015. “Analisa Karakteristik Getaran dan Machine Learning Untuk Deteksi Dini Kerusakan Bearing” dalam *jurnal teknik*. Malang : Universitas Widyagama Malang.
- Sulitya, Wahyu. 2013. “Perencanaan Perawatan Dan Perbaikan Alat Peraga Perawatan Instalasi Pompa Jenis Pompa Sentrifugal-Kapasitas 30 L/Min” dalam *jurnal teknik*. Kediri : Politeknik Kediri.
- Sularso. 1991. *Dasar Perencanaan Dan Pemilihan Elemen Mesin*. Jakarta : PT. Pradnya Paramita.
- Sumantri. 1989. *Perawatan Mesin*. Jakarta: Proyek Pengembangan Lembaga Pendidikan Tenaga Kependidikan.

